Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Bonn.
Direktor: Professor Dr. Alfred Kantorowicz.

Untersuchungen über die Beziehung von Füllungsgröße und Bruchfestigkeit bei Amalgamfüllungen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt

von

Käthe Bergmann

Zahnärztin aus **Schöningen** (Brschwg.)

Bonn 1930
Buchdruckerei H. Trapp, Stiftsgasse 11.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.

Referent: Privatdozent Dr. Balters.
Korreferent: Professor Dr. Alfred Kantorowicz.

R. UNIV
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern
gewidmet

Inhaltsübersicht.

Literarischer Teil.

I. Problemstellung.

II. Allgemeines über die physikalischen Eigenschaften brauchbarer Amalgame, hauptsächlich bezüglich Festigkeit und Härte.

III. Die Beeinflussung der Festigkeit der Amalgame durch
   a) Metallproportionen innerhalb der Feilung.
   b) Dosierung von Feilung und Quecksilber.
   c) Verwendung frischer und gealterter Feilung.
   d) Art der Herstellung der Amalgame.
   e) Mundtemperatur.

IV. Methoden zur Festigkeits- und Härteprüfung.

V. Apparate zur Festigkeitsprüfung und die damit erzielten Resultate.

Praktischer Teil.

VI. Untersuchungen über den Einfluß der Form, besonders der Tiefendimension auf die Bruchfestigkeit von Amalgamfüllungen.
   1.) Überleitung zum gestellten Problem,
   2.) Beschreibung der Apparatur und Prüfkörper.
   3.) Untersuchungen und deren Resultate
      a) an Zentralfüllungen,
      b) an M. O. D.-Füllungen,
      c) an Approximalfüllungen.
   4.) Zusammenfassung und Vorschlag für die Praxis.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548917_0147

I. Problemstellung.

Man macht in der Praxis häufig die Erfahrung, daß Amalgamfüllungen schon nach relativ geringer Belastung, der die Füllungen ja besonders in Form des senkrechten Kaudrucks ausgesetzt sind, einen Bruch aufweisen, der nun ganz verschieden lokalisiert sein kann, etwa exponierte Teile der Füllung betrifft, den Rand der Füllung nach dem Zahn hin, die Kante der Füllung, oder sonst beliebig durch die Masse der Füllung verläuft. Abhängig ist diese Brüchigkeit außer von den Eigenschaften der Amalgame selbst und ihrer Verarbeitung in erster Linie von der Kavitätenpräparation und im besonderen ist sie abhängig einmal von der Neigung der Kavitätenwände zueinander, zum anderen vom Verhältnis der drei dimensionalen Größe der Kavität zum Schmelzdentinbestand, und schließlich spielt die Präparation der Ränder eine Rolle.

Empirisch weiß man, daß man in einem Fall die Kavität tiefer präparieren, in einem anderen Fall noch mehr von der Schmelzwand entfernen muß usw., da bei Unterlassung dieser Maßnahmen, die Füllungen dem Kaudruck nicht widerstehen könnten, eben brechen würden.

Es wirft sich daher leicht die Frage auf: Wie dick muß eine Amalgamfüllung mindestens sein, um dem Kaudruck, wenigstens einem Druck, wie ihn das Zerkleinern der täglichen Nahrung erfordert, Widerstand zu bieten, welches Verhältnis von Breite zu Dicke genügt dieser Anforderung, und ist es von wesentlicher Bedeutung, und zeigen sich Unterschiede, ob wir unser Augenmerk hinsichtlich erwähnter Anforderung auf eine Approximalfüllung lenken, oder auf eine zen-

trische, d. h. auf eine rings von Zahnsubstanz umgebene Füllung? Und es dürfte wohl von Interesse sein, einige zahlenmäßige Feststellungen über die Größe, speziell der Dicke einer Füllung zu ermitteln, die gerade bei etwa 50 kg bricht, obschon eine Füllung, die noch 30 kg Belastung aushält, als genügend anzusprechen ist.

II. Allgemeines über die physikalischen Eigenschaften brauchbarer Amalgame, hauptsächlich bezüglich Härte und Festigkeit.

Die Güte und Brauchbarkeit eines Füllungsmaterials ist abhängig von einer ganzen Reihe wichtiger Eigenschaften, die vor allem den Forderungen der Funktion und Kosmetik genügen müssen, die wiederum in physikalischer Formbeständigkeit und chemischer Unveränderlichkeit gipfeln. Von überwiegender Bedeutung ist die funktionelle Forderung, die kosmetische hat ihr Hauptinteresse im Frontzahngebiet. Die funktionelle Anforderung besteht darin, daß das Material imstande ist, den Kau- und Artikulationsdruck auszuhalten, der von erheblicher Größe ist, zumal in der Summation seiner Betätigung. Von Bedeutung sind Härte und Festigkeit. Eine große Härte verhindert frühzeitige Abnutzung, während eine hohe Festigkeit ein Abgesprengtwerden, die Bruchgefahr verhütet.

Von speziellem Interesse sind hier alle physikalischen Eigenschaften, die man zusammenfassend als Widerstandsfähigkeit auffassen kann, die gewissermaßen eine Funktion von Härte und Festigkeit darstellt. Härte und Festigkeit sind als zusammenhängende physikalische Erscheinungsformen von der Kohäsion der Masse abhängig. Und beide zur Wider-

standsfähigkeit gehörenden Eigenschaften, schließen sich im extrem aus, denn je härter ein Material ist, umsoweniger fest oder zäh ist es, es ist brüchiger, spröder. Härte ist eine Eigenschaft, die jeder Beanspruchung der Oberfläche entgegenwirkt, ist also gewissermaßen eine dreidimensionale Widerstandskraft, während die Festigkeit einer vertikalen Druckbeanspruchung Widerstand zu bieten hat. Nach Art und Ort des Angriffspunktes des vertikal wirkenden Druckes kann man verschiedene Formen der Festigkeit unterscheiden. Belasten wir z. B. einen Würfel von bestimmter Kantenlänge, der aus einem Füllungsmaterial hergestellt ist, vertikal zu einer Begrenzungsfläche, bis er seine Form verändert, so hätten wir schon ein Maß für die Druckfestigkeit des Versuchskörpers vor uns; wird der Körper wieder vertikal bis zum Bruch belastet, so resultiert die Bruchfestigkeit. Setzen wir eine Kante unseres Prüfkörpers einem Druck aus — voraussichtlich wird sein Widerstand geringer sein als vorher —, dann haben wir seine Kantenfestigkeit bestimmt. Wird beispielsweise ein scheibchenförmiger Prüfkörper mittels einer 90gradigen Kegelspitze bis zum Bruch belastet, so bildet der aufgewandte Druck ein Maß für die Spaltfestigkeit. Kann der mit dem Polierstahl hervorgerufene Metallglanz durch Reiben mit dem Finger nicht mehr verwischt werden, dann haben wir den Zustand der Stich- oder Politurfestigkeit. Läßt die dünne, einer Glasplatte aufliegende Schicht eines Füllungsmaterials mit der scharfen Schneide eines Messers unter Anwendung eines bestimmten Druckes absprengen, so haben wir gleichzeitig die Meißel- oder Randfestigkeit des Füllungsmaterials gemessen.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der den physikalischen Eigenschaften zuzurechnen ist und der mitbestimmend für

die Güte eines Füllungsmaterials ist — er betrifft natürlich nur die Gruppe der plastischen Füllmittel, ist die Erhärtungsdauer. Diese ganze Gruppe hat eins gemeinsam: Die zuerst vorhandene Plastizität geht über den Weg der Erstarrung in hochgradige Härte über.

Von weiteren Eigenschaften sei hier abgesehen, und unser Interesse nur der einen Art der plastischen Füllungsmittel, den Amalgamen, im Gegensatz zu den Zementen, zugewandt.

III. Die Beeinflussung der Festigkeit der Amalgame.

a) durch Metallproportionen innerhalb der Feilung.

Schaut man sich in der Literatur um, so findet man, daß viel geschrieben, versucht und experimentiert worden ist, um die Eigenschaften der Amalgame zu bessern, ihre Mängel zu beseitigen, kurz, um ein für die Praxis brauchbares, sich bewährendes Füllungsmittel zu gewinnen. Man konstatiert: Der Qualität der Amalgame hinsichtlich ihrer Härte und Festigkeit ist am wenigsten Beachtung geschenkt, und sicherlich sind auch diese Faktoren mit in Rechnung zu ziehen, wenn schon die Brauchbarkeit der Amalgame keineswegs ausschließlich nach diesen Eigenschaften beurteilt werden darf. Die Forderung, daß ein Füllmittel der Festigkeit des harten Zahnschmelzes möglichst nahe kommen, ihr nach Möglichkeit gleichen soll, ist durchaus einleuchtend; denn wäre diese Forderung erfüllt, so wäre das Problem gelöst, die Füllungen würden eben wie der Schmelz dem Kau- und Artikulationsdruck standhalten und eine Bruchgefahr wäre ausgeschlossen. Nun ist aber die Bruchfestigkeit in hohem Maße abhängig von den Dimensionen und speziell

von der Tiefendimension der Füllung. Man könnte fast zu dem Schlusse kommen, die Bruchfestigkeitsgrenze sei für jede Füllung bezw. für jede Form der Füllung spezifisch, was natürlich übertrieben wäre, denn die Festigkeit einer Füllung ist ja nicht nur von der Dicke abhängig. Nirgends findet man diesen Gedanken einmal ausgesprochen, viel weniger ist die Rede von einer exakten, zahlenmäßigen Ermittelung dieses immerhin bedeutungsvollen Faktors. Natürlich sind Amalgamproben in Form von Cylindern, Scheibchen, cylinderförmigen Stangen, Halbkugeln usw. auf die verschiedenen Festigkeitsformen hin untersucht worden, auch zahlenmäßige Feststellungen darüber sind vorhanden, doch entsprechen derartige Prüfkörper nie den Füllungen, wie sie im Munde vorhanden sind. Alle bisherigen diesbezüglichen Resultate geben uns nur Vergleichswerte, deren Bedeutung keineswegs belanglos ist, sie lassen aber ohne weiteres keine praktischen Folgerungen zu, wie eine Füllung für eine bestimmte Bruchfestigkeitsgrenze zu gestalten ist. Haber allein hat seine Prüfstücke teilweise in extrahierte Zähne gefüllt, die meisten erhielten jedoch ihre Formen in harten widerstandsfähigen Unterlagen. Genauere Angaben über erstere Prüfkörper fehlen aber. In der Literatur findet man nur Angaben über den Einfluß der Zusammensetzung der Amalgame auf ihre physikalischen Eigenschaften, und wie jene sich proportional mit diesen ändern muß. Z. B. kommen hier die Metallproportionen in Frage, die Dosierung, d. h. das Verhältnis von Quecksilber zur Feilungsmenge, die Verwendung frischer und gealterter Feilung und schließlich die Art der Herstellung der Legierung, d. h. ob es günstiger ist, Quecksilber und Feilung durch

Schütteln zu mischen oder mit Mörser und Pistill, oder gar in der Hand.

Zunächst sei einmal der Einfluß der die Amalgame zusammensetzende Metalle auf die Eigenschaften der Legierung erörtert: Allgemein wird angegeben: Zink gleicht die Kontraktion aus, Gold hingegen die Expansion, Kupfer beeinflußt die Kantenfestigkeit, und die Quecksilbermenge die Härte, die Erhärtungsdauer einbegriffen.

Nach Greve handelt es sich beim Amalgam um die zweckmäßige Zusammensetzung der Amalgamfeilung und um die Form derselben, d. h. ob sie fein oder grob oder in Folienform verwandt wird. Feine Feilung bezw. die Folienform bietet dem Hg. eine größere Angriffsfläche, somit ist die Möglichkeit einer vollständigeren Lösung der Feilung im Hg. gegeben. Ein Ag.-Gehalt von 60—65% ist heute der übliche, immerhin ist es denkbar, daß Feilungen mit 50—55% Ag. und anderen kompensierenden Metallzusätzen ein ebenso brauchbares Amalgam liefern. Spuren nur irgend eines anderen Metallzusatzes vermögen schon die physikalischen Eigenschaften derartig zu ändern, daß aus einem weniger brauchbaren ein absolut verwendbares wird und umgekehrt. Z. B. kann reichlicher Au.-Zusatz eine Ag.-Sn.-Legierung verschlechtern. Ein Teil der aus der Erfahrung geschöpften Tatsachen, ist durch das Experiment bestätigt worden.

Nach Schroeder verstärkt ein Au.-Zusatz von 5% zu einer Ag.-Sn.-Legierung alle Eigenschaften, eine Erhöhung bis 20% verschlechtert dieselben. Die Druckfestigkeit wird durch die Verwendung von folienförmiger Feilung infolge des bereits erwähnten leichteren Eindringens des Hg. erhöht.

Fl. Straith hält einen Ag.-Gehalt von ca. 75% am günstigsten, da er die größtmöglichste Festigkeit zur Folge habe.

Thomasi schreibt einem Amalgam mit 67% Ag. die größte Härte und eine homogene molekuläre Struktur zu.

Nach Fenchel sind alle Amalgame, die der Formel 48 Ag. und 52 Sn. am nächsten kommen, die besten in bezug auf Festigkeit, Form und Farbe.

Husnot äußert sich über die Zusammensetzung der Legierung und die daraus erstehenden Folgen: „Bislang enthielten die Ag.-Amalgame viel Zinn und wenig Silber. Der daraus resultierende Mangel an Härte und die Kontraktionskomponente wurden oft durch einen großen Kupferzusatz kompensiert. Letzteres ist aus folgenden Gründen zu verwerfen: Sn.-Amalgam härtet nicht, Cu.-Amalgam erfordert Hg. in einem ganz bestimmten Mischungsverhältnis, unterhalb dessen es pulverförmig bleibt und oberhalb dessen es nicht härtet, nur das Ag-Amalgam härtet mit einem sehr begrenzten Hg.-Zusatz. Enthält also eine Legierung nur einen geringen Ag.-Zusatz, so darf man den Sättigungsgrad letzteren Metalls mit Hg. nicht überschreiten. Bei einem 65%igen Ag.-Amalgam wird man den größten Grad der Sättigung nicht erreichen, solange man nur die Plastizität der Masse erreichen will, beim Zinn aber erst recht nicht. Deshalb soll man nicht unter 65% Ag. verwenden, keinen Cu.-Zusatz, anstatt der kostspieligen Ag.- und Au.-Zusätze einen vernünftigen Zinkzusatz."

Black schreibt dem Zinn als Ursache folgende Erscheinung zu: Kommt ein harter Gegenstand zwischen zwei Zähne, so steigt der Druck bis auf 2004. Unter dem Kaudruck verändern die Füllungen ihre Form, sie „fließen", zeigen also eine Dehnbarkeit. Das rechte Verhältnis von Feilung zu Hg. ist 60 : 40.

Nach Miller-Jung erhöht ein Zusatz von $2^1/_2$—$3^0/_0$ Zinn zum Cu.-Amalgam die Dauerhaftigkeit, verbessert die Farbe und macht die Oberfläche glatter. Zinn verringert die Kontraktion. Sowohl ein Überschuß an Hg. als ein zu starkes Auspressen gibt gleich schlechte Resultate. Ein mäßiges Auspressen läßt dem Cu.-Amalgam seinen richtigen Hg.-Gehalt. Die Kontraktion des Au.-Amalgams ist fast unter allen Umständen geringer als beim Cu.-Amalgam. Das Kondensieren beeinflußt die Kontraktion in hohem Maße.

Herbst sagt: Je mehr Hg. ein Amalgampulver aufnimmt, umso härter wird das Amalgam. Je feiner die Feilung ist, desto besser eignet sie sich für Amalgamfüllungen.

Nach Witzel verschlechtern jede Beimischung (auch Zinn $2^1/_2$—$3^0/_0$) zu Cu.-Amalgam die Kantenfestigkeit. Das reine Cu.-Amalgam hat die größte Kantenfestigkeit und gar keine Kontraktion. Je größer der Prozentsatz von Cu. in einer Legierung von Ag., Sn. und Au. ist, umso zäher und kantenfester wird das Amalgam befunden werden. Ein Amalgam härtet umso schneller, wird umso fester und kontrahiert umso weniger, je gründlicher der Hg.-Überschuß entfernt worden ist.

Nach einer der neueren Arbeiten über Amalgame, nämlich der Takàcs, ist die günstigste Zusammensetzung der Amalgame folgende: 66—$69^0/_0$ Ag., 23 bis $27^0/_0$ Sn., 1—$2^0/_0$ Cu. Wenn sich das Verhältnis ändert, ist das Amalgam schlecht. Wenn z. B. zuviel Sn. vorhanden ist, so amalgamiert sich das Ag. schwer, verzögert das Erhärten der Mischung und bildet ein Amalgam, aus dem das überschüssige Hg. und Sn. nicht entfernbar ist. Das Sn. macht erstens die Amalgamierung leichter, zweitens die Mischung ölig und drittens sichert es die Plastizität.

Aus diesen Beispielen ist ersichtlich, wie bedeutungsvoll die Metallproportionen für die Eigenschaften der Amalgame sind, da schon geringste Änderungen diese Eigenschaften grundlegend zu ändern vermögen, aber damit sind auch unendlich viele Möglichkeiten geboten, brauchbare Amalgame, soweit die Eigenschaften hiervon abhängen, herzustellen. Und es ist einleuchtend, daß sich für diesbezügliche Amalgamuntersuchungen die Form als Füllung erübrigt, ja, daß es durchaus als das Gegebene erscheint, da man nur Vergleichswerte haben will, gleiche Prüfkörper von möglichst einfacher Form zu gebrauchen.

b) durch Dosierung von Feilung und Quecksilber.

Die Frage, ob man einem bestimmten Amalgam nur eine bestimmte Menge Hg. zusetzen dürfe, taucht immer wieder auf. Theoretisch scheint das notwendig zu sein, praktisch ist die Sache aber so, wie schon Witzel nachgewiesen hat, daß durch einen Überschuß an Hg. kaum in Betracht kommende Mengen von Metallen in Lösung gehen. Es ist auch nicht etwa so, daß wir in richtig hergestellten Edelamalgamen Mischungen von Ag. mit Sn. und Hg. besitzen, aus denen letzteres sich ohne weiteres verflüchtigen läßt, sondern chemische Verbindungen und eine feste Lösung, die einmal gebildet und in chemisches Gleichgewicht gekommen, sich nach der Gibsschen Regel nur verändern können, wenn Temperatur oder Druck sich ändern (Sterner-Rainer).

Sterner-Rainer beantwortet gleichzeitig beide Fragen, wie und durch welchen Feingehalt der Späne und durch welchen Hg.-Gehalt der Legierung Spalt-

festigkeit und Erhärtungsdauer beeinflußt werden und stellt seine experimentellen Resultate in einigen Diagrammen graphisch dar: Es liegt das Maximum von 274 kg/cm² bei einem Amalgam aus 60%igen Spänen mit 70% Hg., desgleichen bei einem Amalgam aus 67—70%igen Spänen, wenn diese mit 85 bezw. 65 Teilen Hg. gemischt werden. Bei Verwendung von Spänen, die mehr als 73% Ag. enthalten, fällt die Festigkeit rasch ab und zwar umsomehr, je mehr Hg. verwendet wird. Inbezug auf die Verfestigungszeit erwies sich das mit 50%igen Spänen und 66% Hg. bereitete Amalgam nach einer Stunde als das festeste, es wird aber bald überholt durch das aus 60% Ag. enthaltenen Spänen unter Hinzufügung von 70% Hg. hergestellte. Dieses wird nach einer Stunde von 70 kg gespalten, nach 2 Stunden durch 87 kg, nach 6 Stunden durch 146 kg usw., nach 10 Tagen durch 264 kg, nach 30 Tagen durch 274 kg Amalgame aus 67—70%igen Spänen verhalten sich mit 85 und 65 Hunderteilen Hg. amalgamiert fast gleich, Ag. reichere und Ag. ärmere sind weniger fest. Dieselben Amalgame erhärten auch am schnellsten und zwar umso schneller, je Hg.reicher sie angerieben werden. Während die mit wenig Hg. angesetzt die Brinellhärte 30—40 erst nach 30 Tagen erreichen, benötigen die der mittleren Reihe hierzu 12 Stunden, die Hg. reichen nur 6 Stunden. Diese sind nach 30 Tagen vollkommen hart.

Wannenmacher erzielte folgende Resultate bei seinen diesbezüglichen Untersuchungen, auf die später noch näher eingegangen werden wird. 1. Starke überdosierte Amalgame erreichen eine viel geringere Druckfestigkeit als einigermaßen richtig dosierte. Amalgam, das im Verhältnis 1 : 3 gemischt wurde, hat als Maximum innerhalb der ersten 24 Stunden eine Druckfestigkeit von

4 kg., im Verhältnis 1:1 gemischt schon nach 20 Stunden eine solche von 36,5 kg.; 2. besonders aus der kurvenmäßigen Darstellung ist es ersichtlich, daß überdosierte Amalgame erst nach langer Zeit (4 Tage) eine konstante Druckfestigkeit zeigen, also erst nach dieser Zeit praktisch erhärtet sind. Aus einer Konstanz der Druckfestigkeit kann man auf die Erhärtungszeit schließen. Aus diesen Befunden folgert: Nur richtig dosierte Amalgame sind zu verarbeiten, um einmal Amalgam von hoher Druckfestigkeit zu bekommen und dann auch, um die Erhärtungszeit, während der nicht nicht nur die Füllung deformiert, sondern auch eventl. Hg. abgegeben werden kann, wesentlich abzukürzen.— Die bisherigen Ergebnisse und Untersuchungen zeigen, daß ein richtig dosiertes, gealtertes Amalgam, dessen Ag.-Gehalt 60% ist, bezüglich der Druckfestigkeit einwandfrei ist. Ebenso ist hierbei die günstigste, praktisch kürzeste Erhärtungszeit vorhanden.

Um noch auf eine Arbeit Weßlers aus dem Jahre 1887 einzugehen, sei angeführt, daß Weßler auch Untersuchungen über die Einwirkung der Hg.-Menge auf den Härtegrad anstellte, und es wurde ein umgekehrtes Verhältnis zwischen Härtegrad und der Hg.-Menge bei demselben Amalgam konstatiert, sodaß die trocken angerührten Amalgame härter als die entsprechend mittel angerührten waren usw.

Zusammenfassend kann man wohl behaupten: Ein wichtiger Faktor ist neben der Zeit die richtige Mischung von Feilung und Hg., da dadurch ein gut Teil der Güte des Amalgams, sein volumetrisches Verhalten, als auch Erhärtung und Festigkeit bedingt sind.

Weitere Punkte, mit denen man rechnen muß, und die Eigenschaften beeinflussen, sind nach Kells folgende: 1. variieren verschiedene Teile der gleichen

Mischung in betreff ihrer Komposition, 2. ist es vollständig unmöglich, immer auf die gleiche Weise und unter gleichartigen Verhältnissen zu verfahren, 3. entstehen durch den Prozeß der Kristallisation verschiedene Massen, wie auch das Amalgam selbst sich unter verschiedenen Verhältnissen ändert. Der Prozeß der Kristallisation wird durch die im Munde vorliegenden Verhältnisse beeinflußt und da letztere so verschieden sind, so äußert sich deren Einfluß bei einzelnen Patienten durch sehr verschiedene Resultate. Auch diesen Faktor hat man in Rechnung zu ziehen.

c) durch Verwendung frischer und gealterter Feilung.

Über den Einfluß inbezug auf Verwendung frischer oder gealterter Feilung auf verschiedene physikalische Eigenschaften der Sn.-Ag.-Amalgame berichtet Wannemacher: Edelamalgame können einwandfrei, ohne Gefahr der Möglichkeit einer Hg.-Abgabe, zu Füllungen verarbeitet werden, vorausgesetzt, daß die Feilung richtig konstituiert ist und das richtige Mischungsverhältnis von Feilung zu Hg. eingehalten wird. Das Mischungsverhältnis von Feilung und Hg. ist nur konstant, wenn die Feilung gealtert ist. Frische Feilung ändert im Laufe der Zeit ihr Hg.-Aufnahmevermögen, es besteht also die Gefahr, bei Verwendung frischer Feilung, daß im Laufe der Zeit Hg. überdosiert wird. Der Einfluß des Alterns erstreckt sich auf Hg.-Aufnahmefähigkeit, Druckfestigkeit und Erhärtungszeit.

1. Frische Feilung bewirkt ein großes Hg.-Aufnahmevermögen, das aber nicht konstant ist, sondern allmählich geringer wird. 2. Gealterte Feilung bewirkt ein geringeres Hg.-Aufnahmevermögen als frische

Feilung, das aber praktisch konstant bleibt. Die optimale Druckfestigkeit wird sehr rasch bei einem Amalgam (gealterte Feilung) mit 60% Ag. schon nach 8 Stunden erreicht. Auch schon nach 4 Stunden ist kaum eine Deformierung nachweisbar. Das Freiwerden von Hg. und die Erhärtungszeit sind durch Verwendung gealterter Feilung wesentlich abgekürzt. Zusammenfassend läßt sich also sagen: Mit Hilfe der Dosierung gealterter Feilung mit Hg. erreicht man neben praktischer Hg.-Unschädlichkeit eine äußerst geringe Erhärtungszeit und eine optimale, hohe Druckfestigkeit.

d) durch die Art der Herstellung der Amalgame.

Von Bedeutung für die Eigenschaften der Amalgame dürfte wohl noch seine Art der Herstellung sein. Gänzlich zu verwerfen ist natürlich das Anreiben des Amalgams in der Hand, schon allein deswegen, weil Epithelteilchen und sonstige Absonderungen der Haut sich dem Amalgam beimischen würden. Eine Methode zur Mischung von Hg. und Feilung ist die des Schüttelns, das in eigens dazu vorhandenen Schüttelapparaten geschieht. Um ein Haften der Amalgambestandteile an den Wänden zu umgehen, ist ein trockenes Schütteln nicht empfehlenswert, vielmehr ist eine besondere Waschflüssigkeit zu verwenden und zwar ist die gebräuchlichste eine schwache Säure, z. B. 1%ige Salzsäure, von der zwei Tropfen einer Feilungsmenge von 0,8 gr. vor dem Schütteln zugesetzt werden. Durch die Säure werden die Kristallite der Feilung angeätzt, sodaß diese für das Hg. angreifbar werden. Zusammenfassend über den Einfluß des Schüttelns auf das Amalgam ist zu sagen: 1. Das exakte Anreiben im Mörser liefert wohl bessere

Resultate, mit dem Schütteln sind jedoch brauchbare Resultate zu erzielen. 2. Letzteres hat aber den Vorzug, in 30 Sekunden ausgeführt werden zu können, das Kneten fällt weg, und das Verschleudern von Hg. wird leichter vermieden.

e) durch die Mundtemperatur.

Ob die Mundtemperatur auf die Festigkeit der Zahnfüllung von Einfluß ist, erörtert Tholuck in einer Arbeit „Der Einfluß der Mundwärme auf die Zahnfüllung". Nach der an sich interessanten Feststellung als Resultat verschiedener Messungen, daß die Durchschnittswärme auf der Füllungsoberfläche eines Frontzahnes 29,4° Cels. und auf der Füllungsoberfläche eines Molaren 31,8° Cels. beträgt, kommt Tholuck zu dem Ergebnis: Die Arbeitsfestigkeit (Walkhoff) der Füllungen leidet weder durch die Abweichung der Mundwärme der Füllung von der Eigenwärme der Zahnfüllmittel noch durch die Temperaturschwankungen im Munde. Die Ursprungsfestigkeit der Füllungen leidet dadurch, daß die hierbei in Betracht kommenden Ausdehnungskoeffizienten so verschieden von denen der Zahngewebe und untereinander sind, daß Spannungszustände auftreten, die die Füllungen in längstem Einwirken in ihrem Verbande lockern und zerstören.

Faßt man alle bisher erörterten Punkte zusammen, so erkennt man einmal die Bedeutung der Bruchfestigkeit der Amalgamfüllungen überhaupt, zum anderen, das aus der Literatur ersichtliche Bestreben, dieselbe zu erhöhen, indem man die Ursache für die ungenügende Festigkeit zu ermitteln sucht und mit dieser Ermittlung zugleich Möglichkeit erlangt, die gestellten Anforderungen in Tatsachen umzusetzen. Als solche Ursache werden

die Metallproportionen angeführt, die Verwendung frischer oder gealterter Feilung, die Hg-Dosierung, die Art der Herstellung der Amalgame, die Mundtemperatur, aber nirgends findet man die Bruchfestigkeit der Amalgamfüllungen in Abhängigkeit gebracht von ihrer Form, von ihren Ausmaßen und deren Verhältnis zu einander.

IV. Methoden zur Festigkeits- bezw. Härteprüfung.

Die Beanspruchung der Füllungen im Munde erfolgt einmal durch den Kau- und Artikulationsdruck, es ist dies die Festigkeitsbeanspruchung, außerdem haben wir die Oberfläche d. h. Härtebeanspruchung in Form von Reibung, die auch unter bestimmtem Druck steht, in gewissen Zeiträumen geschieht und mit Massen verschiedenen Härtegrades vor sich geht. Außerdem wirken im Munde Wärme, Elektrizität und chemische Kräfte ein. Das Durcheinanderwirken aller dieser Kräfte, die Schwierigkeit, jeden einzelnen Faktor richtig zu beurteilen, erschwert natürlich die an und für sich schon nicht leichte Feststellung der Größe der Widerstandskraft der Füllungsmittel außerordentlich. Darum scheidet man bei dieser Art von Untersuchungen alle Faktoren aus, und berücksichtigt lediglich die mechanische Widerstandsfähigkeit. Ein weiterer Grund, relativ wenige zahlenmäßige Resultate über Härte und Festigkeit aufweisen zu können, leitet sich aus den verschiedensten Auslegungen der physikalischen Begriffe her. Und daher auch die große Anzahl von Meßmethoden, von denen einige herausgegriffen seien:

Lignitz führt z. B. folgende an: Zunächst die Ritzhärteprüfung von Martens: Ein kegelförmiger

Diamant von bestimmtem Spitzen-Winkel zieht unter verschiedenen Belastungen feine Striche nebeneinander in das plattenförmig zubereitete Material. Diejenige Belastung in Grammen dient als Maß für die Ritzhärte, bei welcher eine Strichbreite von 0,01 mm erzeugt wird.

Brinell preßt vermittels Kugeldruckpresse eine Stahlkugel mit bestimmter Kraft gegen den Probekörper. Als Härtemaß dient die Eindringungstiefe der Kugel.

Nach Schore erfolgt die Prüfung mit dem Skleroskop. Hierbei wird die Härte durch die Höhe des Rückpralls gemessen, den ein stählerner Kegelstumpf von bestimmten Ausmaßen beim Fallen auf die zu untersuchende Platte erfährt.

Die Prüfungsmethode nach Rosiwal fußt auf dem Toulaschen Prinzip. Danach wird eine bestimmte, gewogene Menge Schmirgel solange mit dem Prüfungskörper gerieben, bis der Schmirgel unwirksam geworden ist, d. h., bis er keinen nennenswerten Gewichtsverlust mehr am Prüfungsgegenstand hervorruft. Bei dem Schleifprozeß wird immer eine gewisse und ganz spezifische Menge des Prüfungskörpers zerstört. Je härter dieser ist, umso geringer wird sein Gewichtsverlust sein. Diese Prüfmethode scheint Lignitz die günstigste zu sein. Die Anzahl der von ihm untersuchten Amalgame verbietet Lignitz ein endgültiges Urteil, „dennoch scheinen eine ganze Anzahl der von mir untersuchten Cu.- und Au.-Amalgame eine allen Ansprüchen genügende Abnutzbarkeit ihrer Oberfläche aufzuweisen, wie ja auch schon die praktische Erfahrung zeigt. — Es steht ohne weiteres fest, daß Amalgame, wie Dr. Damanns Gold-Amalgam und Dr. Richters Folien-Amalgam, deren Härte mit 7,59 und 8,96 nur wenig unter der des Schmelzes mit 10,03 steht, gut poliert dem Schmelz mindestens ebenbürtig, wenn nicht überlegen sind".

Tholuck unterscheidet die Prüfmethoden nach folgenden Gesichtspunkten: Zunächst macht Tholuck den Unterschied zwischen theoretischer Härte, d. i. der rein mechanische Widerstand, und praktischer Härte, d. i. der im Munde wirklich vorhandene Widerstand. Folgende Messungen:

I. Qualitativ: durch Vergleich (z. B. Härteskala)
   a) subjektiver Vergleich,
   b) objektiver Vergleich.

II. Quantitativ: durch mittelbare oder unmittelbare Messung.
   a) durch Pressung, gemessen an der Veränderung des Prüfkörpers,
   b) durch Energie, gemessen nach der Oberflächenzerstörung.

Da Methoden nach I. in diesem Falle nicht von Bedeutung sind, seien noch einige Beispiele für II. angegeben:

Hertz bestimmt die Eindringungsfestigkeit, er bestimmt gewissermaßen die Elastizitätsgrenze. Zur Messung dient eine sehr harte Kugel und ein flächenhafter Prüfkörper, die sich beide nur in einem Punkte berühren. Unter steigendem Druck krümmt sich die Ebene, der Berührungspunkt wird zur Berührungsfläche. Das Maß für die Härte ist der Beginn der Entstehung einer bleibenden Veränderung.

Kicks Härtebestimmung gründet sich auf seine Beobachtung, daß bei allseitigem Druck der Unterschied zwischen Sprödigkeit und Plastizität verschwindet. Die Härte des hierdurch gewissermaßen auf eine einheitliche Grundlage gebrachten Körpers bestimmt Kick an seinem Abscherungswiderstand. Kick faßt also die Härte als Scherfestigkeit auf.

Bei anderen Methoden wird im wesentlichen die Energie gemessen, die zur Oberflächenzerstörung

nötig ist, wie sie sich in den Arten des Ritzens, Hobelns, Kerbens, Bohrens und Schleifens darlegt. Die Feststellung der Energie erfolgt durch:

1. Messung des Druckes, der gerade für das bloße Auge eine erkennbare Spur hinterläßt.
2. Messung des Druckes, der in einer bestimmten Zeit einen Teil des zu untersuchenden Gegenstandes fortarbeitet
3. Verlust in der Zeiteinheit bei feststehender Belastung.
4. Zeit, in der eine bestimmte Arbeitsleistung unter gegebener Belastung erreicht wird.

Der gemeinsame Grundfehler aller dieser Methoden ist die Tatsache, daß jede Beanspruchung auf spröde Körper anders wirkt als auf bildsame, erstere splittern aus, letztere werden zur Seite gedrängt.

Nach Fenchel haben sich die Widerstandsmessungen nach zwei Gesichtspunkten hin zu erstrecken: Erstens auf plötzliche Beanspruchung, (diese Messung erfolgt mit Friedemanns Fallapparat), und zweitens auf dauernde Belastung. Die letztere Methode ist folgende: Zwei Amalgamhalbkugeln werden durch zwei Federn einer dauernden Belastung ausgesetzt. Eine Skala zeigt den Druck in kg. an, eine andere Skala die Formveränderung in 100facher Vergrößerung. Der Höchstdruck der Federn beträgt 62,5 kg., die Anfangsbelastungsfläche des Amalgams von 1 mm^2 entspricht einer Anfangsbelastung von 6250 Atm. Der stärkste, bislang gemessene Kieferdruck betrug nach Black 100 kg. bei voller Zahnreihe auf 4 cm^2. Ein Druck von 25 Atm. stellt also die von einem Amalgam zu verlangende Höchstleistung dar.

Man sieht, es gibt eine nicht geringe Anzahl von Methoden, die allerdings mehr oder weniger Fehler-

quellen in sich bergen. Schönbeck stellt für brauchbare Untersuchungsmethoden, die sich auf die Materialkunde erstrecken, folgende Grundsätze auf:

1. Die Prüfung soll unter Heranziehung exakter chemisch-physikalischer Methoden Zahlenwerte ergeben.
2. Die Fehlerquelle soll möglichst klein und konstant sein.
3. Die Methode soll sich nach Möglichkeit den Mundverhältnissen anpassen.

V. Apparate zur Festigkeitsprüfung und die damit erzielten Resultate.

Der dritte Grundsatz Schönbecks wird bei den hier in Frage kommenden Untersuchungen prinzipiell außer Acht gelassen, denn mit dem Versuch, künstlich bei den Experimenten Mundverhältnisse zu schaffen, würde weiter nichts erreicht werden als eine Vermehrung und Häufung von Fehlern und Fehlerquellen, wodurch dann also höchstens noch dem zweiten Grundsatz zuwidergehandelt wäre.

Es sei nun auf die Resultate von den Amalgamprüfungen verschiedener Autoren — natürlich nur soweit sie Widerstandsprüfungen betreffen — eingegangen, und ihre Versuchsanordnungen und Apparate beschrieben.

Friedemann unterscheidet zwei Gruppen von Apparaten, die zu Amalgamprüfungen verwandt wurden:

1. solche, die dazu dienten, die Amalgame auf ihre Festigkeit und Härte hin zu untersuchen und
2. solche, die Untersuchungen über die Kontraktion gestatten.

Friedemann beantwortet erst eine ganze Reihe auftretender Fragen mittels einer Anzahl von Vorversuchen, wonach dann eine einheitliche Methode zur eigentlichen Amalgamuntersuchung zurechtgelegt wurde. Die Gesichtspunkte seien hier kurz angegeben: 1. Frische Feilungen werden nach Black durch 30 Minuten langes Kochen künstlich gealtert. 2. Die Amalgame sind im Mörser, nicht in der Hand zu mischen. 3. Die Cu.-Amalgame dürfen nicht soweit erhitzt werden, daß ein Teil des Hg. verdampft. 4. Mörser und Pistill müssen stets erwärmt werden. 5. Die Amalgampasta soll zunächst einen gewissen Überschuß an Hg. haben, der dann durch mäßiges Ausdrücken mit zwei Fingern zu entfernen ist. 6. Bei jeder Füllung benütze man zur Hälfte mäßig und zur Hälfte stark ausgepreßtes Amalgam, damit das letztere von dem darunterliegenden Amalgam den Hg.-Überschuß aufnimmt. 7. Die Pasta soll nicht auf einmal, sondern in mehreren Teilen eingeführt werden Jeder Teil ist gut für sich zu kondensieren und jeder Hg.-Überschuß mit Watte zu entfernen. 8. Das Kondensieren geschieht durch Rotationsinstrumente, die glatt gewordene Fläche ist wieder anzurauhen. 9. Zum Schluß lege man eine mehrfache Schicht von Zinnfolie auf die Füllung, man wende den sogenannten „gepolsterten Aufbiß" an. (Bei Experimenten an dessen Stelle einen mäßigen Stempeldruck.) 10. Die Amalgamfeilung ist dem Hg. in 2–3 Portionen zuzusetzen. 11. Bezüglich der Temperatur sind die Mundverhältnisse peinlich nachzuahmen. 12. Die Amalgame sind rein zu verwenden.

Die Festigkeitsuntersuchungen nahm Friedemann mit einem Fallapparat vor, dessen Anwendung im folgenden gerechtfertigt erscheint — später wird darauf noch einmal eingegangen werden —: „Man könnte

evtl. den Einwand erheben, ein Fallapparat entspräche niemals den Mundverhältnissen, da im Munde ein Druck vorhanden wäre und kein Fall. Es wäre also ein Druckapparat z. B. eine hydrauliche Presse anzuwenden. Aus technischen Gründen, da außerdem der Druck viel schneller ausgelöst wird und sehr variabel ist, läßt sich der Vorgang maschinell nicht nachahmen, zumal der Druck auf die Zähne durch das Periodontium abgeschwächt wird. Der Kaudruck wird mit einer bestimmten Geschwindigkeit ausgeführt: In 10 Sekunden werden die Kiefer 12 mal — bei langsamem Kauen — 16 mal bei normalem Tempo und 20 mal bei besonders schnellem Tempo zusammengeführt. Bei wachsender Geschwindigkeit wird aus dem Kaudruck gewissermaßen ein Schlag. Auf die Mundverhältnisse angewandt, können wir uns bei der Schnelligkeit, mit der wir gewöhnlich kauen, den Vorgang sehr wohl so denken, daß der Unterkiefer infolge des Muskelzuges auf den Oberkiefer fällt.

Zur Herstellung der halbkugelförmigen Prüfkörper verwendet Friedemann Messingmatrizen, die Metallstäbe darstellen mit je 5 halbkugelförmigen Vertiefungen in regelmäßigen Zwischenräumen. Jede Matrize besteht aus 2 Hälften, die sich durch 2 Schrauben an den beiden Enden fest zusammenfügen lassen. Der Fallapparat besteht aus einer Fußplatte, die sich durch 4 Schrauben mit Hilfe einer Wasserwage horizontal einstellen läßt, aus 2 vertikal dazu stehenden Holzstäben, die unten zwischen sich eine dicke Messingplatte fassen und einem diese Holzstäbe oben verbindenden Querstab. Dieser hat in einem Einschnitt eine Rolle, über die eine Schnur läuft, und diese Schnur trägt das Fallgewicht. Die in den Matrizen hergestellten Halbkugeln aus Amalgam kamen auf die Messing-

platte und mit dem Fallgewicht wurden Zertrümmerungsversuche jeweils aus bestimmter Hubhöhe gemacht.

Diejenigen Amalgamhalbkugeln, die einer großen Hubhöhe standhielten, mußten demzufolge eine große Festigkeit besitzen, aber diejenigen, die schon bei geringer Hubhöhe zertrümmert wurden, mußten besonders spröde und somit auch hart sein.

Bei den Prüfungen wurde mit 1 cm Hubhöhe begonnen und die Prüfung war beendet, wenn an dem Prüfkörper gerade eben ein ganz geringer Riß zu erkennen war. Die Prüfung ergab:

	Hubhöhe		Spielraum
	niedrigste	größte	
Cu.-Amalgam	3 cm	9 cm	6 cm
Ag.-Amalgam	4 cm	$9^1/_3$ cm	$5^1/_3$ cm
Au.-Pt.- u. Au.-Pt.-Amalgame	$4^2/_3$ cm	$12^1/_3$ cm	$7^2/_3$ cm

Friedemann errechnete das Verhältnis der Festigkeit von Cu.-Ag.- und Au.-Amalgamen nach den Durchschnittshubhöhen:

Cu.-Amalg. : Ag.-Amalg. : Au.-Amalg. = $5 : 7^2/_3 : 8^2/_3$. Das Au.-Amalgam besitzt also die größte Schlagfestigkeit, die Härte ist nach dem Befund vom Cu.-Amalgam am größten.

Friedemanns Untersuchungen geben uns wieder nur Vergleichswerte, aber keine praktische Anwendungsmöglichkeit auf die Mundhöhle insofern, als man daraus nicht entnehmen kann, ob tatsächlich das Au.-Amalgam in Form von Füllungen, wobei dann die Beziehung zu den Kavitäten hinzukommt, immer noch die größtmögliche Festigkeit besitzt.

Bei den Bemühungen Elliots, genaue Angaben über den relativen Wert verschiedener Amalgame zu

sammeln, handelt es sich darum, festzustellen, unter welchen Verhältnissen sich das Amalgam am besten bewährt und ob dasselbe auch wirklich alle die Eigenschaften besitzt, die von den Fabrikanten angepriesen werden. Dem Zusammenschrumpfen und der Widerstandsfähigkeit widmet Elliot die größte Aufmerksamkeit. Um letztere festzustellen, wurden gleiche Amalgamscheiben von etwa 7,3 mm Länge und 1 mm Dicke dem Druck eines eigens hierzu hergestellten Zermalmungsapparates ausgesetzt und genau beobachtet, wie groß der zum Zerbrechen der betreffenden Scheibe notwendige Kraftaufwand sein mußte. Elliot stellt also die Bruchfestigkeit fest. Die Versuche wurden mit 15 Sorten (5 trockenen, 5 Mittelsorten und 5 weichen) von Amalgamen angestellt und es konnten betreffs der Widerstandsfähigkeit feste Schlüsse gezogen werden. Zahlenmäßige Angaben vermag ich nicht zu geben, da mir nur ein Referat über Elliots diesbezüglichen Vortrag zur Verfügung stand und hierin die Resultate nur ganz allgemein gehalten sind, vor allem nur hinsichtlich feuchter, trockener oder mittlerer Verwendung. Von einem bestimmten Amalgam (dem Sulivanschen Amalgam) hebt Elliot eine eigentümliche Neigung zur Brüchigkeit hervor. Die Masse soll überhaupt kaum irgend welchen Druck ertragen können.

Elliot nahm später noch einmal Amalgam-Untersuchungen vor und stellte seine Resultate auf einer Tabelle zusammen. Die Tabelle bietet ein Verzeichnis der untersuchten Amalgame, die an ihnen wahrgenommenen Veränderungen hinsichtlich Expansion und Kontraktion und zwar wieder in trockenem, feuchtem und mittlerem Zustande; ferner ist in drei Kolonnen das spezifische Gewicht angegeben und in weiteren Spalten die Brüchigkeit in Pfunden. Zur Feststellung

der Brüchigkeit wurde mit 1 mm dicken und 7,2 mm im Durchschnitt großen Scheiben experimentiert, auch wieder in trockener, feuchter und mittlerer Mischung. Diese Scheiben wurden in Stahlringen von entsprechender Dicke angefertigt. Nachdem man die Scheiben einen Monat lang hatte härte lassen, wurden dieselben mit dem Mikrometer gemessen und bis zu 1 mm abgeschliffen. Dann wurden sie in einen Bruchapparat gelegt, der aus einem horizontalen Cylinder bestand, in dem sich ein stumpfer kegelförmiger Kolben befand, der einen Druck auf den Mittelpunkt der Scheibe ausübte. Die Druckkraft wurde durch eine sich selbst registrierende Wage gemessen. Elliots Untersuchungen gestatten Vergleiche zwischen den einzelnen Amalgamen. Die größte Bruchfestigkeit erlangen die trocken angerührten und zwar beträgt die maximale Bruchfestigkeit $17^1/_5$ und $17^1/_{11}$ Pfund, die minimalste 2, 3 und $6^1/_5$ Pfund und zwar beziehen sich diese Zahlen auf die Scheiben von 1 mm Dicke und 7,2 mm Durchmesser

Hauch prüfte die Widerstandskraft der Amalgame bei plötzlicher Beanspruchung auch mit Friedemanns Fallapparat. Es wurde ein Fallgewicht von 22 gr gebraucht und mit 10 cm Hubhöhe begonnen. Die Durchschnittshöhe betrug für 5 Sorten Amalgam:

Amalgam	I	II	III	IV	V	
	25	24	21	21	22,5	cm

Das Amalgam, dessen Feilung aus 48 Ag. und 52 SN. zusammengesetzt ist, hat die größte Hubhöhe und damit die größte Festigkeit.

Witzels Resultate von den Untersuchungen über den Einfluß starken Druckes auf die Amalgame seien noch kurz angegeben: Das Erhärten der Füllungen durch starken Handdruck oder bei Kavitäten auf der

Kaufläche der Mahlzähne wird durch den Druck der Antagonisten wesentlich beschleunigt. Daher ist die Wirkung eines sehr starken Druckes, wie er nur mit Maschinen ausgeübt werden kann, auf die Amalgamfüllungen wichtig.

Es wurde eine 6 mm dicke Stahlplatte mit einem durchgehenden Loch von 20 mm und ein für dasselbe genau passender Stahlstempel angefertigt. In diese Stahlkammer wurden die in einer 2 mm dicken Platte schon vorgestopften und von überschüssigem Hg. befreiten Amalgamscheiben gelegt und jede für sich dem stärksten Drucke (etwa 200 kg) einer Handschraubenpresse ausgesetzt. In dem Stahlstempel waren kleine Abzugskanäle für das dabei noch freiwerdende Hg. vorhanden. Die Versuche ergaben, daß die zusammengesetzten Amalgame, die unter Handdruck erst nach 1—2 Stunden erhärten, unter Maschinendruck sofort stich- und politurfest wurden. Bei den Untersuchungen wurde gleichfalls festgestellt, daß sich die Amalgame wenige Minuten nach der Kompression ausdehnen, und zwar bis zu $^1/_{50}$ ihres Durchmessers, daß diese Ausdehnung, die bei verschiedenen Amalgamen verschieden auftrat, nicht konstant blieb, meist nach 24 Stunden wieder etwas zurückging. Starker und auf die ganze Oberfläche gleichmäßig ausgeübter Druck, durch den der letzte Rest von überschüssigem Hg. entfernt wird, verbessert also ganz zweifellos die Rand- und Kantenfestigkeit eines jeden Amalgams.

Hinsichtlich der Untersuchung der physikalischen Eigenschaften der Amalgame stellt Hedström auch die Frage zur Erörterung: Welche Einwirkung haben die verschiedenen Metallproportionen der Legierungen auf die relative Festigkeit der Amalgame? Zu Hedströms „Festigkeitsprobierer“ gehört eine Packungs-

matrize zur Herstellung von langen cylinderförmigen Amalgamstangen. Diese Stangen werden in den Apparat eingesetzt und solange der Belastung ausgesetzt, bis sie bersten. Der Festigkeitsprobierer besteht aus einem Stativ zum Einsetzen der Stangen in horizontaler Lage. Auf gewissem Abstand vom Befestigungspunkt der Amalgamstange wird eine Schale aufgehängt, in die Hg. aus einem Behälter durch einen automatischen Hahn niederläuft, bis die Amalgamstange durch die Belastung bricht, wobei der Hg.-Zulauf zu der Schale im selben Augenblick durch die Automateinrichtung am Hahn abgebrochen wird. Die Schale mit dem Hg. wird gewogen. Aus der Länge der Stange der Durchschnittsarea und der Belastungsgröße ist der Festigkeitskoeffizient leicht erhältlich. Die meisten Amalgame haben sich bei diesen Proben mehr oder weniger elastisch gezeigt. Ungleiche Stangen werden in Kurven von ungleichen Radien gebogen. Wenn die Probe vor dem erreichten Bersten unterbrochen wird, und die Belastung entfernt wird, geht die Stange nur teilweise in ihre frühere gerade Form zurück. Je kleiner die Belastung gewesen ist, desto eher geht die Amalgamstange in ihre frühere Form zurück. Ein vorgeschlagenes Maß für die Elastizitätsgrenze (nach Wertheim) ist die Belastung auf mm^2, wo die Verlängerung aufhört, gegen die Belastung proportional zu sein.

Lange gibt die Untersuchungsresultate Tammanus an, dessen Untersuchungen ergeben haben, daß die Bruchfestigkeit eines Edelamalgams in erster Linie von dem Hg.-Gehalt abhängig ist. Zur Bestimmung der Bruchfestigkeit fertigte Dahl Amalgamscheiben von 1,45 mm Dicke an. Diese wurden auf einem durchbohrten Eisencylinder gelegt und in ihrer Mitte durch einen Druckstift mit plattem Ende von 3 mm Durchmesser

belastet. Die auf den Druckstift bei Eintreten des Bruches wirkende Kraft in kg. ist als Maß der Bruchfestigkeit angegeben. Die höchste Bruchfestigkeit von 27 kg. fand Dahl für ein Amalgam mit etwa 50 Ag. und 50 Sn. enthaltender Feilung und etwa 22% Hg. Die Bruchfestigkeit fällt mit zunehmendem Hg.-Gehalt, der Sn.-Gehalt muß dann aber zunehmen.

Haber hat auch Prüfstücke, die teils in extrahierte Zähne gefüllt waren, teils anderweitig in widerstandsfähigen Unterlagen hergestellt waren, einer längere Zeit währenden Belastung ausgesetzt. Die Untersuchungen wurden mit Habers Kaudruckmesser vorgenommen. „Der Druck wurde allmählich auf 13 kg. gesteigert. Bei Druckausübung erfolgt in 20 Sekunden ein Nachgeben auf 12 kg., in weiteren 25 Sekunden bis auf 11,5 kg., in weiteren 60 Sekunden bis auf 10,5 kg., in einer Stunde auf 9 kg. Das Amalgamstück hat sich mit der Unterlage, einem Sockel aus Hartzinn, fest verbunden." Damit glaubt Habers beweisen zu können, daß das unter ständigem Druck stehende Amalgam, wie es beim festen Aufeinanderbeißen der Zähne im Schlaf häufig der Fall ist, Hg. an seine Unterlage abgibt. Auf die Mundverhältnisse übertragen, würde das die Eindringung von Hg. aus der äußerlich harten und anscheinend abgebundenen Füllung in den Organismus bedeuten. Es folgen einige Beispiele Habers-Resultaten:

Goldplatinamalgam Richter. Prüfstück = Pyramide von 7 mm Höhe, 8 mm Breite. Bruch bei 11½ kg. Es wurden 3 einzelne 18 Tage alte Bruchstücke auf eine Goldfolie gelegt, diese auf einen Hartzinnsockel, der von einem Stahlring umschlossen war. Hg.-Abgabe erfolgte auf den Sockel bei einer Druckanwendung von 28 kg.

Blersch-Amalgam. Über Gold lag auf einem Zinnsockel ein 10 Tage altes Prüfstück von der Größe 10 : 15 mm aus Blersch-Amalgam. Der Druck war 100 kg. Nach 21 Stunden war derselbe auf 72 kg. zurückgegangen, es betrug also die Drucknachgabe 28%. Auch war das Amalgam mit dem Zinnsockel eine feste Verbindung eingegangen, die durch Handdruck nicht lösbar war. Habers Versuche ergaben: Erhärtete Edelamalgamfüllungen vermögen unter Druck noch Hg. abzugeben, besonders wenn der Kaudruck stärker ist als der Widerstand des Amalgamfabrikates. Amalgam muß mindestens 60 kg., möglichst 100 bis 150 kg. Druckwiderstand leisten.

Wannenmacher machte Druckfestigkeitsversuche an Amalgamcylindern, deren Feilung 60% Ag. und 40% Sn. enthielt, von 10 mm Höhe und 1,8 mm Durchmesser Die kurvenmäßige Darstellung der Druckfestigkeit ist auf 1,8 mm^2 als Einheit bezogen. Bei den Versuchen wurde festgestellt, daß während des Erhärtens auch bei best dosierten Amalgamen freies Hg. ausgepreßt wird. Nach endgültigem Erhärten bei konstanter Druckfestigkeit läßt sich nur bei 30 kg. Druck Hg. abpressen, aber nur aus stark mit Hg. überdosierten Amalgamen.

Die Druckfestigkeitsgrenze wurde dadurch ermittelt, daß die beschriebenen Proben steigenden Drucken ausgesetzt wurden und zwar jeweils 1 Minute. Der Druck in kg., bei dem zuerst eine Deformation, gewissermaßen ein Stauchen der Versuchscylinder eintrat, wird als Druckfestigkeit bezeichnet. Bei stärksten Drucken, bei denen die Stauchung sehr stark ist, treten in den Amalgamcylindern Risse und Sprünge auf. Das Auftreten des ersten Risses wurde nicht berücksichtigt, lediglich die erste Deformation in Form einer Stauchung Folgende Resultate wurden erzielt:

1. Stark überdosierte Amalgame erreichen eine viel geringere Druckfestigkeit als einigermaßen richtig dosierte. Amalgam im Verhältnis 1 : 3 gemischt hat als Maximum innerhalb der ersten 24 Stunden eine Druckfestigkeit von 4 kg, im Verhältnis 1 : 1 gemischt schon nach 24 Stunden eine solche von 36,5 kg.

2. Besonders aus der kurvenmäßigen Darstellung ist ersichtlich, daß überdosierte Amalgame erst nach langer Zeit (4 Tage) eine konstante Druckfestigkeit zeigen, also erst nach dieser Zeit praktisch erhärtet sind. Aus einer Konstanz der Druckfestigkeit kann man auf die Erhärtungszeit schließen.

Aus diesen Befunden folgert: Nur richtig dosierte Amalgame sind zu verwenden, um einmal Amalgam von hoher Druckfestigkeit zu bekommen und dann auch, um die Erhärtungszeit, während der nicht nur die Füllung deformiert, sondern eventl. auch noch Hg. abgegeben werden kann, wesentlich abzukürzen. Die optimale Druckfestigkeit wird sehr rasch bei einem Amalgam mit 60% Ag. schon nach 8 Stunden erreicht. Auch schon nach 4 Stunden ist kaum eine Deformierung erkennbar.

Die gleichen Ergebnisse resultierten aus den Druckfestigkeitsprüfungen Widmaiers an Handelsamalgamen. Es wurden Versuchscylinder von 10 mm Höhe und 7 bis 7,35 mm^2 Querschnitt verwandt. Das optimal dosierte Amalgam reagiert nach 4 Stunden bei 600 kg. pro cm^2 Druck mit meßbarer Deformation, nach 12 Stunden ist der Endwert von etwa 680 kg./cm^2 erreicht. Die Kurven der überdosierten und ausgepreßten Amalgame zeigen einen bedeutend flacheren Anstieg. Nach 12 Stunden ist ein Druck von 600 kg./cm^2 notwendig, der Endwert nähert sich 650 kg./cm^2. Bei den Prüfungen ist die Elastizität der Amalgame vernachlässigt. Obgleich die Endwerte annähernd gleich sind, ist die Do-

sierung nicht gleichgültig, denn in überdosiertem Amalgam ist freies Hg. vorhanden und der konstante Festigkeitszustand wird viel später erreicht.

Sterner-Rainer beschreibt seine Festigkeitsuntersuchungen wie folgt: „Ich benutzte einen Vorschlag von Prof. Ludwig (Technische Hochschule Wien) und drückte eine 90grädige Kegelspitze in den Mittelpunkt der Cylinderbasis meiner Versuchskörper bis zum Bruch ein. Der Vorgang ist zweifelsohne dem Einbiß eines Gegenzahnes ähnlicher als wenn der Bruch durch einen flachen Stempel auf ein hohlliegendes Scheibchen herbeigeführt wird. Die Versuchskörper waren 10 mm hoch und in der Mitte von genau 10 mm Durchmesser, dann wird durch die Bruchlast eine Fläche von 1 cm^2 gespalten, sodaß sie ein einheitliches Maß für die Festigkeit, die ich Spaltfestigkeit nennen will, bildet." „Die Härte wurde auf die übliche Weise durch Eindrücken einer Kugel von 10 mm Durchmesser bei 125 kg Belastung während 2 Minuten ermittelt. Die Ermittlung der Fläche des Eindruckskreises geschah mittels des Meßmikroskops und durch Division der Eindruckslast von 125 kg durch die Fläche in mm^2. Die obere Fläche des beim Stopfen erhaltenen Cylinders, der in einem Stahlring eingeschlossen war, ergab hierbei eine etwas größere Härte als die untere, weshalb das Mittel aus beiden genommen wurde." Die Härtekurven verlaufen ähnlich wie die Festigkeitskurven mit Höchstzahlen zwischen 67-, 70- und 73%igen Spänen, die mit 85, 95 bis 105 Hundertteilen Hg. verrieben wurden."

Strömgren hat die Druckfestigkeit von Amalgamen an Cylindern von 6 mm Durchmesser und 12 mm Länge gemessen, die in einem massiven Stahlblock gestopft wurden. Die Prüfung geschah nach 5 Tagen bei 20—25° Cels. und in einer Belastungsdauer von 2—5

Minuten. Die mittlere Druckfestigkeit von 3 Proben mußte mindestens 25 kg pro mm^2 sein, sie betrug bei hochprozentigen Ag.-Legierungen 40 kg pro mm^2.

Unter Nyffeneggers Untersuchungen an Amalgamen finden sich auch solche, bezüglich der Druck- und Kantenfestigkeit, „resp. auf Spaltbarkeit an der Kante und in der Mitte eines Amalgamklötzchens". Nyffenegger schreibt: „Ich bin mir bewußt, daß ich bei diesen Versuchen keine den Mundverhältnissen entsprechenden Resultate erhalten konnte. Das war auch nicht meine Absicht, ich wollte nur Vergleichswerte aufstellen". Nyffenegger stellte Probefüllungen in einer Matrize, einer 6 mm dicken Stahlplatte her, die konische Löcher von 6 und 6,6 mm Durchmesser aufwies. Als Belastungsapparat wurde ein Apparat nach dem Prinzip des einarmigen Hebels verwandt. „Auf einem plangehobelten Brett ist eine horizontal geschliffene Grundplatte befestigt Zu beiden Seiten derselben stehen zwei senkrecht gestellte Säulen, die mit einer Brücke verbunden sind. Auf dieser Brücke ist vermittels einer gespaltenen Schraube die Drehachse unseres Hebels angebracht. Dieser Hebel ist 32 cm lang und läuft in der Führung einer wiederum gespaltenen Kopfschraube, die auf einer der genannten Säulen befestigt ist. 2 cm vom Drehpunkte entfernt hängt an einer Achse vom Hebel herab ein Stahlmesser, dessen unteres Ende keilförmig mit einem Winkel von 40^0 zugeschnitten ist. Dieses Stahlmesser läuft unten wiederum in einer Führung, um stets die gleich gerichtete Einwirkung des Messers auf das zu prüfende Material zu sichern. Am Abstande von 12, 22 und 32 cm vom Drehpunkt entfernt sind am Hebel Gewichtsstellpunkte angebracht. An diese kann ein Gewichtskörper angehängt werden, der mit verschiedenen Gewichten belastet werden kann. Das

Gewicht des Hebels wurde an allen 3 Punkten genau bestimmt. So war es mir möglich, dank der einfachen Vorrichtung (einarmiger Hebel) den auf das zu prüfende Material ausgewirkten Druck auf das genaueste zu bestimmen". Die Durchschnittswerte sind zum Vergleich auf einer Tabelle zusammengestellt worden und zwar stellte Nyffenegger die Spaltbarkeit am Rande bei 14 Amalgamen, beginnend mit dem „Solia-Alloy" von 21,842 abfallend bis 16,209 des „R.M.F.-Amalgams" fest, und bei den gleichen Amalgamen die Spaltbarkeit in der Mitte zu 52,215 bei „Richters Gold-Platin-Fol.-A I", abfallend bis 40, 110 bei „De Trey Alloy". Weiter ist aus der Tabelle ersichtlich, daß für das gleiche Amalgam die Kantenfestigkeit $^1/_2$ bis $^1/_3$ so gering ist, wie die Festigkeit in der Mitte, weiterhin, daß die Goldamalgame die geringste Kantenfestigkeit besitzen, einige aber die höchste Festigkeit in der Mitte aufweisen.

Zusammenfassend läßt sich auch hier nur wieder hervorheben, daß uns in den Ergebnissen von Amalgamprüfungen und Untersuchungen hinsichtlich ihrer Festigkeit und Härte gewiß bedeutsame und wertvolle Vergleichswerte gegeben sind, da zumeist auch mit verschiedenen Amalgamsorten experimentiert worden ist, außerdem Festigkeit und Härte mit vielerlei in Zusammenhang gebracht werden können, aber Angaben, wie durch die Form der Füllung die Bruchfestigkeit ein und desselben Amalgams zu beeinflussen, vor allem zu erhöhen ist, ob sie überhaupt in Beziehung zueinander stehen, fehlen gänzlich.

VI. Untersuchungen über den Einfluß der Form der Füllung auf die Bruchfestigkeit bei Amalgamfüllungen.

1. Überleitung zum gestellten Problem.

Um die eingangs aufgeworfene Frage zu beantworten, stellte ich eine Anzahl von Versuchen an, deren Anordnung und Resultate im Folgenden dargelegt seien. Zuvor seien aber noch einige Bemerkungen vorausgeschickt, die meine Versuchsanordnung rechtfertigen mögen, und zu Friedemanns Fallapparat Stellung genommen:

Friedemann weiß die Anwendung seines Fallapparates — wie ich oben zitierte — zu vertreten. Sicherlich kann man sich vorstellen, daß der Unterkiefer durch den Muskelzug gegen den Oberkiefer fällt, aber einleuchtender dürfte es sein, — der Tatsache entsprechend, daß wir es im Munde mit einem Druck, mit einer Belastung der Zähne zu tun haben — einen Druck bezw. Belastungsapparat zu verwenden, und zwar würde ein Apparat, der gemäß dem Prinzip des Hebels wirkt, den Anforderungen genügen. Da man weiterhin bei derartigen Experimenten gezwungen ist, soviel anatomisch-physiologische Zustände und Verhältnisse zu vernachlässigen, wird die Abschwächung des Druckes auf die Zähne durch das Periodontium, die Friedemann auch in diesem Falle so hoch bewertet, kein Grund dafür sein, keinen Belastungsapparat anzuwenden. Außerdem verwendet Friedemann für die Experimente Halbkugeln, also eine Form der Prüfkörper, wie sie keineswegs den Zahnfüllungen entspricht.

Und letzteres ist der Punkt, an dem hier im wesentlichen Kritik geübt werden soll. Autoren wie

Elliot, Witzel, Haber, Hauch, Hedström, Wannenmacher u. a., die übrigens alle Druckapparate benutzten, verwandten Prüfkörper in Form von Scheibchen, Cylindern, Stangen usw. Ihre Resultate lassen wohl Vergleiche der Eigenschaften verschiedener Amalgame zu, geben wohl einen Begriff, auch zahlenmäßige Begriffe dafür, inwieweit die physikalischen Eigenschaften von der Zusammensetzung der Feilung, dem Verhältnis von Feilung zu Hg. abhängen, wie Metallzusätze sie beeinflussen, welche Bedeutung der Gebrauch frischer oder gealterter Feilung hat, oder gar die Art der Herstellung der Amalgammischung; aber alles das soll einmal zurückstehen vor dem Gedanken, der zu der Frage Veranlassung gibt: Wie dick muß eine Amalgamfüllung mindestens sein, um dem Kaudruck, wenigstens einem Druck wie ihn das Zerkleinern der täglichen Nahrung erfordert, Widerstand zu bieten, welches Verhältnis von Breite zu Dicke genügt dieser Anforderung und ist es von wesentlicher Bedeutung, und zeigen sich Unterschiede, ob wir unser Augenmerk hinsichtlich erwähnter Anforderung auf eine Approximalfüllung oder eine Zentralfüllung lenken?

2. Beschreibung der Apparatur und Prüfkörper.

Von den tatsächlich im Munde vorhandenen Verhältnissen ausgehend, daß also der Druck, der infolge des Zusammenschlusses der Kiefer erzeugt wird, je nach stärkerer oder schwächerer Kontraktion der Kaumuskulatur willkürlich variiert werden kann, wählte ich für meine Experimente einen diesen Verhältnissen am nächsten kommenden Apparat, nämlich einen Belastungsapparat, der — da er auf dem Prinzip des einarmigen Hebels

beruht — eine Variation des zur Wirkung kommen sollenden Druckes, vor allem aber seine Steigerung bis zu 50 kg. zuließ.

Der Apparat besteht aus einem vertikalen, etwa 17 cm hohen Stativ, das mittels einer horizontalen Fußplatte auf der horizontalen Unterlage steht. In ca. $^2/_3$ Höhe des Stativs befinden sich genau senkrecht übereinander im Abstand von 4—5 cm zwei starke Eisendrähte, die je in eine horizontale Oese auslaufen. Diese Oesen dienen der Führung eines ca. 5 mm starken, am unteren Ende kegelförmig zugespitzten Eisenstiftes. Am oberen Ende des Stativs ist mit einem leicht beweglichen Scharnier ein Balken, oder besser ein Stab, ein Arm angebracht, der am freien Ende eine Platte trägt, die ihrerseits zum Aufsetzen von Gewichten dient. Das Scharnier ist so leicht beweglich, daß der Arm mit der Platte ohne Unterstützung, der Schwerkraft folgend, nach unten abklappt. Der Prüfkörper wird nun derart unter den Eisenstift gelegt, daß er genau eingestellt, den oberen Arm in genau horizontaler Richtung abstützt. Die Entfernung des Stativs vom Eisenstift verhält sich zu der Entfernung des Stativs von der äußeren Kante der Platte wie 1 : 10. Es läßt sich dann entsprechend der Kraftwirkung am Hebel die Proportion aufstellen: Last : Kraft = 10 : 1 oder Last = Kraft x 10. Die Last ist hier die zu bestimmende Bruchfestigkeit, die Kraft der jeweils aufgewandte Druck in kg. Es läßt sich so also die Bruchfestigkeit in Zahlenwerten bestimmen.

Die Herstellung der Prüfkörper fußt darauf, daß für Amalgamfüllungen zwei Arten von Füllungen im wesentlichen nur in Betracht kommen, und zwar sind das einmal zentrale Füllungen, wie wir sie z. B. in Molaren mit Fissurenkaries legen, zum anderen Approximalfüllungen, die wir wohl am häufigsten in Prämo-

laren zu legen gezwungen sind. Stark schematisiert präparierte ich diese Füllungsarten in variabler Ausdehnung in Galalithklötzchen, denn Galalith ist ein äußerst widerstandsfähiges, wenig sprödes Material und darum für die Versuche besonders gut geeignet. Die Oberfläche der Füllungen gestaltete ich absichtlich plan, damit die Krafteinwirkung immer gleich-gerichtet, d. h. senkrecht war.

3. Untersuchungen und deren Resultate

a) an Zentralfüllungen.

Nachdem ich die Länge der Fissuren eines beliebigen unteren zweiten Molaren zu 9,5 mm und 8,5 mm bestimmt hatte, schnitt ich in die bereits erwähnten cylinderischen Galalithklötzchen von 5 mm Höhe und 14 mm Durchmesser kreuzförmige Kavitäten mit der Achsenlänge 9,5 und 8,5, mm die Tiefe für jede Kavität gestaltete ich verschieden, nämlich 0,75 mm, 1,2 mm und 2 mm, die Breite betrug konstant 3 mm. Die Wände standen genau senkrecht zum Kavitätenboden. Die Ränder wurden nicht finiert (siehe Abbildung 1). Diese Kavitäten wurden mit Silber-Folien-Amalgam (Hersteller Deutsche Gold- und Silber-Scheideanstalt) gefüllt und die Versuche 48 Stunden nachher ausgeführt. Nachdem die Füllungen gut geglättet worden waren, wurden sie nacheinander unter den Eisenstift gelegt und zwar nacheinander die Ecken und Kanten in verschiedener Entfernung vom Rande, da an diesen Stellen besonders oft die Brüche lokalisiert sind, und die Belastungen vorgenommen, zu denen ich Gewichtsstücke von $^1/_2$—4,9 kg gebrauchte; 4,9 kg deshalb, weil ich ein Maximum von 50 kg erreichen wollte und

daß mit einer Federwage festgestellte Eigengewicht des Belastungsarms, das ja mitberücksichtigt werden muß, sich auf 0,115 kg belief. Zu 4,9 kg addiert — natürlich auch zu den anderen jeweils aufgewandten Drucken — ergibt sich 5,115 kg, also rund 5 kg. Wie oben hergeleitet, kommt eine Multiplikation mit 10 hinzu, sodaß ich also die zu erreichenden 50 kg auf diese Weise gewonnen hatte: wenn ich also mit 4,9 kg belastete. Ich möchte hier gleich bemerken, daß ich, obwohl ich immer die zahlenmäßigen Feststellungen betone, hier keine noch kleinste Bruchteile von kg berücksichtigende Werte erzielen will, sondern nur den — allerdings auch zahlenmäßigen — Nachweis erbringen will, daß Bruchfestigkeit und Größendimensionen der Amalgamfüllungen in Beziehung stehen.

Die Resultate bei diesen Füllungen waren folgende: Ganz gleichgültig, an welchen Stellen ich die Belastung vornahm, ich erhielt k e i n e n Bruch bis zur Drucksteigerung von 50 kg. Als einzige Einwirkung waren wohl Dellen vorhanden, die durch die Spitze des Stiftes erzeugt worden waren. Diese Dellen waren bei den Füllungen von 2 mm Dicke ganz seicht, waren am tiefsten bei denen von 0,75 mm Dicke, sodaß diese Tiefe als die minimalste zu bezeichnen ist. Zur Kontrolle dieser Resultate stellte ich noch eine ellipsenförmige Füllung her, mit den Durchmessern 6 und 4 mm, und einer Dicke von 1 mm. Das Resultat bei verschieden lokalisierten Belastungspunkten war wie vorher. Unter dem Mikroskop waren in nächster Umgebung der Dellen kleine herausgesplitterte Amalgamteilchen wahrzunehmen, aber ein irgendwie durch die Füllung verlaufender Bruchspalt war nicht vorhanden. Das Ergebnis dieser Resultate ist wohl folgendes:

Eine zentrale Amalgamfüllung kann als Minimum eine Tiefe von 0,75—1 mm haben, falls der Kavitätenpräparation (senkrechte Wände, keine finierten Ränder!) genügend Aufmerksamkeit und Sorgfalt gewidmet und außerdem das Amalgam sehr gut kondensiert worden ist, da bei dieser Tiefe ein Druck von 50 kg keinen Bruch verursachte.

b) an M. O. D.-Füllungen.

Gewissermaßen den Übergang von den rein zentral gelegenen zu den durch die sogenannte Schwalbenschwanzverankerung gesicherten Approximalkavitäten bilden die zentralen Kavitäten, die bis auf die Approximalflächen des Zahnes durchgezogen sind, und die ich im folgenden kurz als M O.D.-Kavitäten bezw. -Füllungen (mesial-okklusal-distal) bezeichnen will. Ich präparierte also Kavitäten von gleichen Ausmaßen wie die vorigen, schnitt die Galalithklötzchen an den vier schmalen Kanten der kreuzförmigen Kavitäten ab, sodaß die Füllungen nun bis auf die Approximalflächen durchgingen (siehe Abb. 2). Ich belastete die Füllungen an den freien Enden, und zwar stellte ich im Verlaufe der Versuche fest, daß die Entfernung des Belastungspunktes vom Rande außerordentlich bedeutsam war. Die Füllungen mit 0,75 mm Tiefe brachen bei 11 kg Druck in der Entfernung von 1 mm vom Rande, bei 21 kg in einer Entfernung von 1,5 und 2 mm, die Füllungen von 1,2 mm Tiefe zeigten einen Bruch bei 21 kg in 1 mm Abstand vom Rande, bei 26 kg in 1,5 und 2 mm, jedoch keinen Bruch bei 50 kg in mehr als 2 mm Abstand. Bei Füllungen mit 2 mm Tiefe waren die Resultate bedeutend günstigere, ein Bruch erfolgte nunmehr bei einer Belastung von 31 bis 33,7 kg im Ab-

stand von 1 mm vom Rande, bei 43,7 kg in 1,5 mm Abstand und es gab keinen Bruch mehr bei 50 kg in 2 und mehr mm Abstand vom Rande. 3 mm dicke Füllungen brachen bei Belastung von 50 kg in 1 mm Entfernung vom Rande, hielten dem Druck von 50 kg in 1,5, 2 und mehr mm vom Rande aber stand. Diese Ausmaße, 3 mm Tiefe und 3 mm Breite, schienen mir den Ergebnissen nach, die mindesten, die eine Füllung am Übergang von der Okklusionsfläche zur Approximalfläche haben mußte, um eben 50 kg Druck auszuhalten. Ich präparierte aber noch eine Anzahl Kavitäten genau wie diese, nur in 2 mm Breite und 2,5 mm Tiefe. Es entstanden Brüche bei 43—50 kg Belastung 1 mm vom Rande entfernt, kein Bruch mehr bei 50 kg bei Belastung in 1,5, 2 und mehr mm vom Rande entfernt. Bei zunehmender Dicke der Füllung und derselben Breite ist eine Zunahme der Widerstandskraft gegen Druckbelastung zu konstatieren. Das Ergebnis aus diesen Resultaten dürfte sein:

Das Minimum an Ausmaßen der Breite und Tiefe der M. O. D.-Füllungen muß an den zusammenstoßenden Flächen für die Breite 2—3 mm betragen, für die Tiefe 2,5—3 mm.

c) an Approximalfüllungen.

Weitere Belastungsversuche betreffen die andere Form der Amalgamfüllungen, die durch den sogenannten Schwalbenschwanz verankerten Approximalfüllungen. Ich präparierte wieder schematisierte Formen dieser Art von Füllungen in Galalithklötzchen und zwar gestaltete ich die approximal gelegene Hauptkavität derart, daß die Oberfläche der fertigen Füllung nachher 6×3,5 mm betrug. Auf der horizontaten oberen Fläche der Klötzchen

präparierte ich dann die Schwalbenschwanzverankerung in Verbindung mit der Hauptkavität. Gewissermaßen als Boden der Kavität präparierte ich eine Stufe in die Galalithklötzchen entsprechend der stufenförmigen Gestaltung der Zementunterfüllungen, wie wir es bei Patienten zu tun gewohnt sind. Da wir bei dieser Art Füllungen Brüche vor allem am Übergang von Hauptkavität zur Verankerung antreffen, schenkte ich meine besondere Beachtung der Präparation der Schwalbenschwänze und zwar in erster Linie der Tiefe. Ich stellte aber zunächst Kavitäten her, deren größter Durchmesser des Schwalbenschwanzes verschieden, deren Tiefe konstant 1 mm betrug (s. Abb. 3). Bei Belastung an der schmalsten Stelle des Schwalbenschwanzes erfolgten Brüche bei 21 kg bei 3 mm größten Durchmesser, bei 21 kg bei 5 mm, und bei 31 kg bei 6 mm. Bei weiteren Kavitäten ließ ich den größten Durchmesser des Schwalbenschwanzes konstant 3,5 mm sein, variierte aber die Tiefe (s. Abb. 4). Ich erzielte folgende Resultate: Bei 0,8 mm Tiefe einen Bruch bei 16 kg, bei 1,1 mm bei 21 kg, bei 1,5 mm und 2 mm Tiefe erhielt ich Brüche bei 43,6 kg, hingegen bei 2,5 mm Tiefe nur eine Delle, bei 50 kg.

Diesen Ergebnissen nach scheint auch für diese Art von Füllungen die minimalste Tiefenausdehnung des Schwalbenschwanzes für 3,5 mm größten Durchmesser zwischen 2 und 2,5 mm zu liegen. Denn ich sprach ja eine Festigkeit von 30 kg als genügend an, eine solche von 50 kg als voll ausreichend.

4. Zusammenfassung und Vorschlag für die Praxis.

Zusammenfassend ist die gestellte Frage, also dahin zu beantworten: Für Zentralfüllungen beträgt das

Aufsicht

Querschnitt

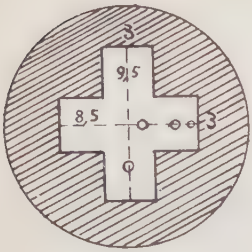


Abb. 1

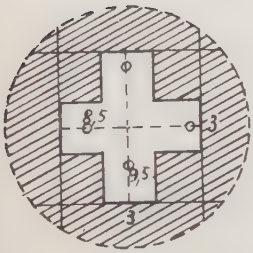
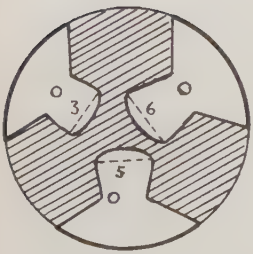


Abb. 2



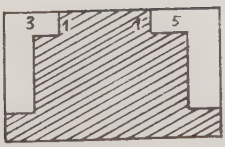
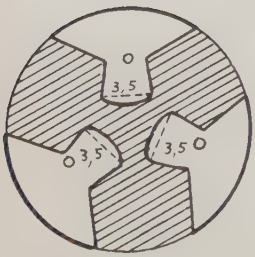


Abb. 3



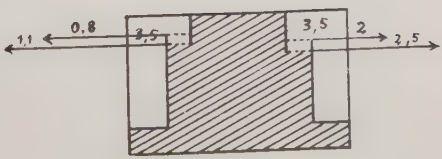


Abb. 4

Tiefenminimum den gestellten Anforderungen genügend 1 mm und zwar ohne jegliche Rücksichtnahme auf die Größe der Oberflächendimension der Füllung. Sobald in die Kavität die approximalen Wände mit einbezogen sind, ist das Tiefenminimum auf 2,5, besser noch auf 3 mm an den besonders zu Brüchen neigenden Stellen zu erhöhen. Diese Feststellungen lassen uns außerdem erkennen, daß hinsichtlich der Tiefenpräparation der Kavitäten bedeutende Unterschiede vorhanden sind bezüglich einer Zentral- oder Approximalfüllung.

Die Untersuchungsergebnisse sind zur Übersicht auf nachfolgenden Tabellen zusammengestellt worden.

Im Anschluß an obige Feststellungen möchte ich noch folgenden Vorschlag für die Praxis machen: Da es natürlich in vielen Fällen schwierig ist, bei der Kavitätenpräparation im Munde unserer Patienten genau festzustellen, in welcher Tiefe sich der Kavitätenboden befindet, zumal noch nach kauflächenwärts gerichtet die Größe des Einbißes des Antagonisten hinzukommt, empfiehlt es sich, ein Stückchen Weichwachs in die Kavität zu pressen und den Patienten die Kiefer schließen zu lassen. Entfernt man das Wachs dann aus dem Munde, so läßt sich entweder schon jetzt die Tiefe bestimmen oder aber dann, sobald man sich von dieser Wachsform einen Querschnitt angefertigt hat. Je nachdem, wie das Resultat ist, kann man sofort die Füllung legen oder gestaltet die Kavität — vielleicht nur noch um weniges — tiefer.

Tiefe der Kavität	Belastung bis zu kg in der Entfernung vom Rande				Bruch	Form und Größe der Füllungen
	1 mm	1½ mm	2 mm	mehr als 2 mm		
0,75 mm	50				—	Zentrale kreuzförmige Füllungen mit der Achsenlänge 9,5 u. 8,5 mm in der Breite und 3 mm in variabler Tiefe.
„		50			—	
„			50		—	
„				50	—	
1,2 mm	50				—	
„		50			—	
„			50		—	
„				50	—	
2 mm	50				—	
„		50			—	
„			50		—	
„				50	—	
1 mm	50				—	Ellipsenförmige Füllungen mit Durchmesser r. 6 u. 4 mm und mit 1 mm Tiefe.
„		50			—	
„			50		—	
„				50	—	
0,75 mm	11				+	M.O.D. Füllungen in Kreuzform mit der Achsenlänge 9,5 u. 8,5 mm, 3 mm Breite und variabler Tiefe.
„		21			+	
„			21		+	
1,2 mm	21				+	
„		26			+	
„			26		+	
„				50	—	
2 mm	31				+	
„	31				+	
„	33,6				+	
„		43,5			+	
„				50	—	
„				50	—	
3 mm	50				—	
„		50			—	
„		50			—	
„			50		—	
2,5 mm	43				+	M.O.D. Füllungen in Kreuzform mit der Achsenlänge 9,5 u. 8,5 mm, 2 mm Breite.
„	43,5				+	
„	50				+	
„	50				+	
„		50			—	
„		50			—	
„			50		—	
„			50		—	
„			50		—	
„			50		—	
„				50	—	

Approximalfüllungen mit schwalbenschwanzförmiger Retention.

Die Belastung erfolgte an der schmalsten Stelle der Verankerung am Übergang zur Hauptkavität.

Tiefe der Verankerung mm	Größter Durchmesser der Verankerung mm	Belastung bis zu kg	Bruch
1	3	21	+
1	5	26	+
1	6	31,5	+
0,8	3,5	16,5	+
1,1	3,5	21	+
1,5	3,5	43,5	+
2	3,5	43,5	+
2,5	3,5	50	—

Ich möchte es nicht unterlassen, Herrn Privatdozent Dr. Balters für die freundliche Überlassung des Themas sowie die liebenswürdige Unterstützung bei der Anfertigung meiner Arbeit meinen besten Dank auszusprechen.

Literaturverzeichnis.

Bade: Die Bedeutung der exakten Quecksilberdosierung bei der Anwendung von Amalgamgemischen. Deutsche Zahnärztliche Wochenschrift. 1929.

Elliot: Vergleichende Experimente mit Amalgamen. Ref. Correspondenzblatt f. Z. 1884.

Elliot: Über Amalgame. Correspondenzblatt f. Z. 1885. S. 71.

Fenchel: Amalgame, Untersuchungs-, Verarbeitungs- u. Herstellungsmethoden. Sammlung Meusser, Abhandlg. aus dem Gebiet der klinischen Zahnheilkunde. Heft 9 Berlin 1920.

Frick: Über Amalgamfüllungen. Journal f. Zahnheilkunde. 1892.

Friedemann: Physikalische Untersuchungen an 58 Amalgamen. Deutsche Monatsschr. für Zahnheilkunde. 1900. Heft 1, 2.

Greve: Füllungen und Füllungsmethoden. Misch, Fortschritte der Zahnheilkunde. 1925.

Greve: Experimente und Betrachtungen mit Amalgam. Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde. 1903. Heft 5.

Haber: Neues zur Amalgamfrage. Deutsche Zahnärztliche Wochenschrift. 1928. Nr. 9.

Haber: Der Stand der Amalgamfrage bis Jahresende 1928. Zahnärztliche Rundschau. 1929.

Hauch: Untersuchungen über physikalisch-chemische Eigenschaften einiger bekannter zahnärztlicher Amalgame auf Grund neuer Versuchsmethoden. Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde. 1925. S. 413.

Husnot: Betrachtungen über das Silberamalgam. Referent Misch, Fortschritte der Zahnheilkunde. 1925.

Hedström: Apparate und Methoden zur Untersuchung der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Amalgame. Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde. 1902. Heft 10.

Kells: Amalgam. Correspondenzblatt für Z. 1896.

Kirby: Einige Versuche über die Eigenschaften der Amalgame. Journal für Zahnheilkunde. 1892. Nr. 32.

Lange: Was muß der Zahnarzt von den Amalgamen wissen? Deutsche zahnärztliche Wochenschrift. 1926.

Laury: Unsere Amalgame. Zahnärztl. Rundschau. 1901. 8 Sept.

Lignitz: Eine exakte Methode zur Prüfung der Härte zahnärztlicher Materialen. Deutsche Monatsschr. f. Zahnhlkde. 1922. S. 1.

Nichols: Einige Beobachtungen über Amalgamfüllungen. Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde. 1925. S. 131.

Nowack u. Loebich: Die Metallgraphischen Untersuchungen von Amalgamen. Deutsche zahnärztliche Wochenschrift. 1929.

Nyffenegger: Untersuchungen an Amalgamen. Schweiz. Monatsschrift für Zahnheilkunde. 1929.

Ottolengui: Frage der Amalgamprüfung. Ref. Odonthologische Blätter. 1901. Nr. 24.

Peckert: Einführung in die konservierende Zahnhlkde. Leipzig. 1921.

Scruzon: Der Platz des Amalgams in der Zahnheilkunde. Referent Misch: Fortschr. der Zahnheilkunde. 1926.

Schmidt-Oldesloe: Über Amalgame. Deutsche zahnärztl. Wochenschrift. 1901.

Sterner-Rainer: Zur Amalgamfrage. Zeitschrift für Stomatologie. 1927. Nr. 3.

Sterner-Rainer: Die Amalgame im Dienste der Zahnheilkunde. Zeitschr. für Stomatologie. 1928. Nr. 5.

Strömgren: Über Prüfung von Amalgam. Ref. Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde. 1928.

Takacs: Die Veränderung des Volumens der Amalgame. Zahnärztliche Rundschau. 1929. Nr. 5.

Tileston: Amalgam. Ref. Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde. 1898. Heft 6.

Tholuck: Die Härte der Zahnfüllungen. Deutsche Zahnheilkunde. 1924. Heft 62.

Tholuck: Der Einfluß der Mundwärme auf die Zahnfüllung. Ref. Misch: Fortschritte der Zahnheilkunde. 1926.

Thomes: Über die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Amalgame Deutsche Vierteljahresschrift für Zahnheilkunde. 1873. Heft 1.

Wannenmacher: Untersuchungen über Zinn - Silber - Amalgame. Deutsche zahnärztl. Wochenschrift. 1929. S. 361.

Wannenmacher: Untersuchungen über verschiedene Eigenschaften der Zinn-Silber-Amalgame. Deutsche zahnärztliche Wochenschrift. 1929. S. 397.

Wessler: Einige Untersuchungen mit Amalgam. Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde. 1887. Heft 2.

Witzel: Das Füllen der Zähne mit Amalgam. Berlin. Verlagsanstalt. 1889.

Lebenslauf.

Am 28. Januar 1907 bin ich, Käthe Bergmann, als Tochter des Kaufmanns Karl Bergmann und seiner Ehefrau Auguste geb. Schmidt in Othfresen am Harz geboren. Noch im Jahre 1907 siedelten meine Eltern nach Schöningen in Braunschweig über. Hier besuchte ich von Ostern 1913 bis 1917 die Mädchen-Bürgerschule und von Ostern 1917 bis 1923 die Realschule in Schöningen. Ostern 1923 erhielt ich das Reifezeugnis für Obersekunda. Ich kam dann in die Oberrealschule zu Helmstedt in Braunschweig, wo ich Ostern 1926 das Abiturienten-Examen bestand. Seitdem widmete ich mich dem Studium der Zahnheilkunde, das ich mit dem Sommersemester 1926 in Leipzig begann. Nach drei vorklinischen Semestern — nach dem Sommersemester 1927 — bestand ich in Leipzig die zahnärztl. Vorprüfung mit „gut" und studierte dort noch ein weiteres Semester, das erste klinische. Mit dem Sommersemester 1928 setzte ich mein Studium in Bonn fort und erhielt in Bonn im Dezember 1929 die zahnärztl. Approbation mit „gut".